

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22656200

研究課題名（和文）次世代船用燃料からの排ガス粒子状物質が海洋生態系に及ぼす影響評価

研究課題名（英文） Hazard evaluation of the particulate matters in ship exhaust gas emitted from new fuels on marine ecosystems.

研究代表者

岡村 秀雄 (OKAMURA HIDEO)

神戸大学・内海域環境教育研究センター・教授

研究者番号：90253020

研究成果の概要（和文）：次世代燃料を用いた船舶ディーゼルエンジンからの排ガス中の粒子状物質 (PM) が海洋生態系に及ぼす有害影響をバイオアッセイにより評価し、PM に吸着する有機有害成分とアニオンの関連性を評価した。C 重油や A 重油に比較すると、ジャトロファ油からの PM 排出量は低く、海産生物への有害性は低く、変異原性も低かった。C 重油や A 重油にジメチルエーテル (DME) を添加した燃料では、DME 添加によって減少した燃料の量に見合う有害性の低減は必ずしも認められなかった。

研究成果の概要（英文）：Environmental hazard of the particulate matters (PM) in ship exhaust gas emitted with next generation fuels was evaluated using chemical analyses and ecotoxicity testing. The PM emission, the ecotoxicity, and the mutagenicity of the PM generated from Jatropha oil were lower than the ones from marine diesel oil (MDO: heavy oil A) and heavy fuel oil (HFO: heavy oil C). The PM emission and the ecotoxicity/mutagenicity of the PM generated from the 70 % heavy oils mixed with 30 % dimethyl ether (DME) did not quantitatively decreased in comparison with the ones from MDO or HFO. New compounds produced from heavy oils and DME might explain non-reduction in the toxicity.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,300,000	0	2,300,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	300,000	3,600,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋環境、排ガス粒子状物質

1. 研究開始当初の背景

船舶からの排ガス由来の大気汚染物質に

ついては、1997 年に IMO において新たな取組みが採択され、2005 年 5 月に NOx および

SO_x等の排出規制が施行した。船舶排ガス由来の粒子状物質 (PM=SDEP) については現在のところ規制の対象となっていないが、陸上地域における微小粒子状物質の主要な原因は船舶からの NO_x 排出であることが、カナダとEUから指摘されている。近い将来には、PMの排出低減は燃料油中の硫黄分の低減化によって実施されることとなり、これに伴って排出され、PMに吸着する有害物質である多環芳香族炭化水素 (PAH) 等を含む有機溶媒可溶画分 (SOF) の量は相対的に増えると言われている。しかし、PMの化学組成についての知見は少なく、海洋環境への毒性学的知見は皆無である。

申請者は、PMに吸着した有害成分であるPAHおよびそのニトロ化体 (NPAH) の高感度一斉分析法を用い、A重油、C重油、ジャトロファ油をそれぞれ燃料とした際に得たSDEPに吸着した15種のPAHと10種のNPAHについて分析した。その結果、C重油からの試料の総PAH量が高かったが、2種のNPAHについては供試油間の違いが少なかった。同時に、C重油からのSDEPの水溶性画分のpHは、他の燃料油よりも1.5から2.0程度低いことを観察したが、硫酸および硝酸イオン等のイオン成分については全く不明である。そこで、バイオディーゼル油などの次世代燃料を用いた際に排出されるPMそのものの海洋生態系への有害影響を評価することが重要であると考え、SOFによる有害影響に加えて、水可溶のイオン成分による影響を考慮する必要性を認識するに至った。

2. 研究の目的

次世代燃料を用いた船舶ディーゼルエンジンからの排ガス中の粒子状物質 (SDEP=PM) について、有機有害物質を含むSOFおよび硝酸、亜硝酸、硫酸等のイオン性物質に着目し、以下の課題に取り組んだ。

(1) 異なる燃料からのSDEPに吸着しているPAH、NPAHを同定・定量する

(2) 異なる燃料からのSDEPに吸着している燃焼由来のイオン性物質を同定・定量する

(3) SDEPが海洋生態系に及ぼす影響および変異原性を評価する

以上の実験結果を総括し、供試燃料ごとのSDEPのSOF中のPAH・NPAH成分およびSOF中のイオン成分が明らかとし、SDEPが海洋生態系に及ぼす影響を予測することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 供試燃料と分析用試料

供試燃料として、3種類の燃料 (I : C重油、II : A重油、III : ジャトロファ油、) をベースとして、ジメチルエーテル (DME) 添加燃料、水を添加したエマルジョン燃料、硫黄を添加した燃料を用いた。

I (2種) : C重油 100%、C重油 70%にDME30%

II (4種) : A重油 100%、A重油 70%+DME30%、A重油 100%+硫黄5%、A重油 70%+DME30%+硫黄5%

III (2種) : ジャトロファ油、ジャトロファ油 90%+水 10%添加エマルジョン燃料

ディーゼルエンジン (Yanmar NFD13-ME, NF-19SK) を定速回転とし、エンジン負荷率を4段階 (25、50、75、100%) に設定して排ガスを発生させ、石英フィルター (Advantec PG60, φ47mm,) 上にSDEP試料 (10L分) を得た。連続的に3回の繰返し実験とした。1枚のフィルターを4等分し、1/4枚を有機溶媒抽出し、LCにより3分画してSOF試料とし、PAH、NPAH濃度を測定すると共に、生態毒性と変異原性を評価した。また1/4枚を水抽出してイオン性物質濃度を測定した。

(2) 化学分析

4等分したフィルターをジクロロメタン (DCM) を用いて高速溶媒抽出装置 (Dionex ASE-10) により粗抽出物を得、固相カラムおよび分取LCを用いて2段階の前処理を行い、1つのフィルター試料から3画分のSOF試料を調製した。PAH (15種類) についてはHPLC-蛍光システム、NPAH (10種類) についてはLC-蛍光-化学発光システムで定量した。

イオン性物質の分析では、カラムオープンと電気伝導度検出器を導入し、イオン交換カラムを用いたLC分析法によりSO₄²⁻、NO₃⁻、NO₂⁻濃度を定量した。

海洋生態系への影響評価

得られたSOF試料について、海産発光細菌阻害試験、海産藻類増殖阻害試験、甲殻類急性致死試験を用いて評価した。また、変異原性の評価では、ニトロ化合物への感受性を高めた遺伝子組換え細菌を用いた試験を実施した。以下に供試生物種名と評価指標を示す。

発光細菌: *Aliivibrio fischeri* (DSM7151), 30-min EC50

海産藻類： Skeletonema costatum (NIES 34), 72-h EC50, NOEC

塩水性甲殻類： Artemia salina, 48-h LC50

変異原性試験： Salmonella typhimurium NM2009 (TA1535/pSK1002/pNM12), 2 時間で誘導、対照の 2 倍の RGA

4. 研究成果

(1) 次世代燃料からの PM 排出量

C 重油をベースとした場合の PM 排出量は 60~160mg/kWh であり、C 重油の 30%を DME とすると、概して減少した。A 重油をベースとした場合は 30~80mg/kWh であり、硫黄を 5%添加しても有意に増加せず、A 重油の 30%を DME とするとエンジン負荷率が高いと顕著に減少したが、これに 5%硫黄を添加しても顕著に増加しなかった。ジャトロファ油をベースにした場合の PM 排出量は 25~110 mg/kWh であり、C 重油をベースとしたよりも有意に低かったが、A 重油をベースとした場合と比較して有意に低いとは言えなかった。ジャトロファ油に水 10%を添加した水エマルジョン燃料の PM 排出量は、ジャトロファ 100%に比較すると、ほぼ同等か低い傾向にあった。

(2) PM に吸着したイオン性物質

カラムオープンと電気伝導度検出器を導入し、イオン交換 LC カラムを用いたアニオン (F, Cl, NO₂, Br, NO₃, SO₄) 分析法を開発した。PM を捕集した PG60 フィルターごと水抽出し、除粒子後にアニオンを分離定量した。PG60 フィルターに超純水を加えて超音波処理すると、硝酸イオンの生成は認められなかったものの、亜硝酸イオンが生成した。また、除粒子のために用いたディスポシリンジフィルター、および PG60 フィルターから硫酸イオンが溶出した。以上のことから、PM を捕集した PG60 フィルターを、超音波抽出ではなく縦横自動振とう機で 30 分間水抽出し、これを遠心分離(10000rpm、15 分)して除粒子した。試料中の硫酸濃度は、PG60 フィルターに含まれる硫酸イオン濃度をブランク値として差し引いて、定量した。

C 重油をベースとした際の PM 重量当たりの硫酸イオンは 7~15%であった。キロワット時当たりの硫酸イオンは 4~20mg/kWh で、PM 重量の 6~13%を占めた。C 重油 70%+30%DME としても、硫酸イオン濃度には変化は認められなかった。これに対し、A 重油をベースとした際の PM 重量当たりの硫酸イオンは 8~12%であり、硫黄を添加すると 9.9~22%となり、有意に増加した。キロワット時当たりの硫酸イオ

ンは 4~6mg/kWh であり、PM の 7~13%であり、これに硫黄を添加すると PM の 10~18%を占めた。C 重油に比較して硫黄分の少ない A 重油であっても、硫黄化合物を 5%添加することにより、排出される PM に占める硫酸イオン濃度は 3~5%増加することを実験的に確認した。ジャトロファ油および水エマルジョン燃料の PM には硫酸イオン濃度は極めて低かったので、燃料中の硫黄濃度が低いことに起因すると考えた。また、ジャトロファ油試料の PM には亜硝酸イオンおよび硝酸イオンが検出されたが、試験方法を含めてさらに検討が必要である。

(3) PM に吸着した有機有害成分

供試試料(C 重油、A 重油、ジャトロファ油、潤滑油)そのものをシリカゲルカラムクロマトグラフィーを用いて分画し、LC により 15 種類の PAH および 11 種類の NPAH を定量した。総 PAH 濃度は、A 重油が最も多く (ナフタレン濃度が高かった)、次いで C 重油であり、ジャトロファ油と潤滑油は少なく、対象とした NPAH は 4 種の試料には検出されなかった。1 つのフィルターから調製した 3 種類の SOF について、PAH および NPAH 濃度を定量した。PM に吸着した総 PAH 濃度は、C 重油では 0.02~0.75 mg/kWh、A 重油では 0.14~0.25 mg/kWh であり、それぞれの重油に DME を 30%混合した燃料では、約 50%に減少した。しかし、エンジン負荷率 100%の場合、DME 添加 C 重油からの総 PAH 濃度は、C 重油のみの約 10 倍となった。これに対して、ジャトロファ油での総 PAH 濃度は 0.01~0.08 mg/kWh であり、水エマルジョン燃料では 30~40%に減少した。分析対象とした 10 種類の NPAH の内、1-ニトロピレン(1NP)のみが検出され、C 重油では 1.0~1.7 · g/kWh、A 重油では 0.16~0.55 · g/kWh、ジャトロファ油では 0.06~0.23 · g/kWh であった。このようにジャトロファ油の総 PAH 濃度および 1NP 濃度は、重油よりも低かった。

(4) PM の海洋生態系への影響評価

1 つのフィルターから調製した 3 種類の SOF の有害性について、海産生物への影響および変異原性を評価した。多くの SOF 試料は発光細菌に対して比較的強い阻害を示したが、甲殻類致死影響および藻類増殖阻害は極めて弱かったので、主として海産発光細菌に対する影響評価を実施した。A 重油からの PM の発光阻害に比較すると、DME 混合 A 重油での発光阻害は顕著に減少し、A 重油中の有害成分の減少によるものと考えられた。これに対して、DME 混合 C 重油での発光阻害は、C 重油のみの発光阻害の 4 から 18 倍に増加したの

で、有害成分が新たに生成した可能性が示された。一方、ジャトロファ油および水エマルジョン燃料の発光阻害は、実験条件に関わらず弱かった。

変異原性については、C 重油をベースにした試料および A 重油をベースにした試料には、粗抽出物の第 2 及び第 3 画分に、直接および間接変異原性が認められた。A 重油を供試した際には DME を添加すると変異原性が減少したもので、A 重油中の変異原物質の減少によるものと考えられた。これに対して、DME 混合 C 重油での間接変異原性は、C 重油のみの場合に比較して 3 から 4 倍に増加したので、新たに間接変異原物質が生成した可能性が示された。重油を燃料とした際に変異原性が認められた画分には、化学発光検出による LC クロマトグラムに共通した複数のピークが認められたので、今後、これらのピークの同定に興味を持たれる。一方、ジャトロファ油および水エマルジョン燃料では、いずれの試料にも、実験条件に関わらず、変異原性は認められなかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 12 件)

①段智久, 柳榮鉉, 浅野一朗, DME/C 重油混合燃料を適用したディーゼルエンジン性能, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.16, pp197-205, (2012.12). 査読有

② Ryu, Y., Dan, T., Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine by Mixing DME and Bunker Oil, Journal of the Korea Society of Marine Engineering, Vol.36 No.7, pp.885-893, (2012.11). 査読有

③Ryu, Y., Dan, T., Asano, I., Measurement of Bunker Oil/DME Blended Fuel Viscosity for Diesel Engine Application, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol.47 No.5, pp.729-734, (2012.9). 査読有

④段智久, 阿佐信吾, 浅野一朗, 内燃機関数値解析コードを用いた 2 段噴射式ディーゼルエンジンの解析, 神戸大学大学院海事科学研究科紀要, No.9, pp.1-7, (2012.7). 査読有

段智久, 直噴式ディーゼル機関におけるジャトロファ水エマルジョン燃料の燃焼, 日本航海学会誌, Navigation, 第 180 号, pp.68-73, (2012.4). 査読有

⑤高山敦好, 影山朋久, 藤田浩嗣, 原野亘, PM 充電器と静電水スクラバによる NOx, PM の

低減、環境技術, 41, PP.90-96, (2012.2). 査読有

⑥段智久, バイオ燃料の燃焼特性 -ディーゼルエンジンにおける植物油の利用, 日本マリンエンジニアリング学会誌, 47 巻 1 号, pp.51-58, (2012.1). 査読有

⑦Ryu, Y., Dan, T., Mizukura, M., Asano, I., Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine by Mixing DME and Marine C Heavy Fuel Oil, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), D2-1, pp.1-6, (2011.10). 査読有

⑧ Shikimi, K., Dan, T., Asano, I., Hashimoto, M., Combustion Characteristics of Water Emulsified Jatropha Curcas Oil in Variation of Water Droplet Distribution, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), D2-3, pp.1-6, (2011.10). 査読有

⑨段智久, バイオ燃料のディーゼルエンジンにおける有効利用, 日本航海学会誌 Navigation, 第 177 号, pp.52-57, (2011.7). 査読有

⑩長正和, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 船舶排ガスの拡散シミュレーション手法に関する研究, 神戸大学大学院海事科学研究科紀要, 第 8 号, pp.67-73, (2011-7). 査読有

⑪高山敦好, 山下恭平, 藤田浩嗣, 原野亘, 外部混合式 3 流体噴射弁を用いた NOx・PM の低減, 神戸大学大学院海事科学研究科紀要, 第 8 号, pp.75-80, (2011-7). 査読有

⑫Oshio H., Dan T., Hashimoto M., Asano I., Combustion Analysis of the Jatropha Oil in a Pre-Combustion Chamber Type Compression Ignition Engine, Journal of The Japan Institute of Marine Engineering, Vol.45 Special Issue, pp.50-55. (2010-11). 査読有

[学会発表] (計 33 件)

①Dan, T., Ryu, Y., Asano, I., Impact of Dimethyl Ether to Ship Engine Fuel for Marine Environment Protection, 5th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies, Advanced Maritime Engineering Conference 2012 (Taipei), SEPAS_03,

pp. 1-6, (2012. 12. 10~12). (TAIWAN)

②Nguyen, K. B., Tanaka, S., Dan, T., Asano, I., Hashimoto, M., Investigation of Jatropa Oil Fueled Diesel Engine with Split Injection, 5th Pan Asian Association of Maritime Engineering Societies, Advanced Maritime Engineering Conference 2012 (Taipei), GT_05, pp.1-6, (2012. 12. 10~12) (TAIWAN)

③Dan, T., Utilization of Liquefied Dimethyl Ether for Promoting Better Combustion in Ship Diesel Fuel, Proceedings of the 2nd East Asia International Symposium on Maritime Sciences (EAISS2012), pp.107-108, (2012. 11. 8~10).

④岡本ひさよ, 中村紗也香, 松本紗央里, 段智久, 岡村秀雄, ジャトロフア油由来のディーゼル排ガス微粒子に吸着するニトロ化 PAHs, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演論文集 (高松), pp.61-62, (2012. 9. 19~21).

⑤中村紗也香, 尾田恵梨奈, 松本紗央里, 岡本ひさよ, 段智久, 岡村秀雄, ジャトロフア油由来のディーゼル排ガス微粒子に吸着する有害物質, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演論文集 (高松), pp. 59-60, (2012. 9. 19~21)

⑥大上雅貴, グエン キムバオ, 段智久, 浅野一朗, 橋本正孝, ジャトロフア油乳化燃料のディーゼルエンジンにおける燃焼解析—直噴式機関における単段噴射の場合, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演論文集 (高松), pp. 57-58, (2012. 9. 19~21).

⑦段智久, 水庫誠, 柳榮鉉, 浅野一朗, 船用重質油のジメチルエーテルによる特性改善に関する研究, 日本マリンエンジニアリング学会, 第 82 回マリンエンジニアリング学術講演論文集 (高松), pp.133-134, (2012. 9. 19~21)

⑧段智久, 瓦礫材由来難燃性物質のジメチルエーテルによる特性改善の可能性, ひょうご神戸産学学官アライアンス, 第 5 回分野別技術発表会, 講演資料集, pp. 35-46, (2012. 9. 7).

⑨段智久, 柳榮鉉, 水庫誠, 浅野一朗, 船用重質燃料油のジメチルエーテルによる改

質—揮発性物質を含有する混合燃料の粘度測定—, 平成 24 年春季講演会 (神戸), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 14 号 2012S-OS5-9, pp. 121-124, (2012. 5. 17~18).

⑩Dan, T., Ryu, Y., Mizukura, M., Asano, I., Kinematic Viscosity Measurement of DME and Bunker Oil Blended Fuel for Diesel Engine Application, 8th KSME-JSME Thermal and Fluid Engineering Conference (Incheon), FR02-004, (2012. 3. 18~21).

⑪高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 影山朋久, 山下恭平, IMO3 次規制を目的とした排ガス低減技術, 日本機械学会関西支部第 87 期定時総会講演会 (関西大学) (2012. 3. 16~17).

⑫Dan, T., Environmental Safeguards with Using Alternative Fuel in Diesel Engine, 5th PAAMES ISC Meeting and Forum "Green Maritime Engineering Innovations" (Taipei), pp. 1-17, (2011. 12. 5).

⑬Dan, T., Exhaust Emission Improvement in Diesel Engine by Using Alternative Fuels, Exchange Seminar on Research Topics -Additional Meeting of the World NAOE Forum-, pp. 1-2 (2011. 11. 25).

⑭色見晃輔, 段智久, 浅野一朗, 水エマルジョン化ジャトロフア油のディーゼル燃焼, 平成 23 年秋季講演会 (神戸), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 13 号 2011K-OS-10, pp. 321-324, (2011. 11. 1).

⑮高山敦好, 影山朋久, 藤田浩嗣, 原野亘, PM 充電器と静電水スクラバによる NOx, PM の低減, 平成 23 年秋季講演会 (神戸), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第 13 号 2011K-OS-10, pp. 319-320, (2011. 11. 1).

⑯Asa, S., Dan, T., Asano I., Engine Performance Analysis of Two Stage Injection Diesel Engine by Numerical Simulation Code HIDECS, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), A1-3, pp. 1-5, (2011. 10. 17).

⑰Okamura, H., Sawamoto, T., Dan, T., Fujita, H., Can Dimethyl Ether Diminish Environmental Impacts of Diesel Exhaust Particulates from Marine Diesel Oil?, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), C5-3, pp. 1-4, (2011. 10. 17).

⑱Ryu, Y., Dan, T., Mizukura, M., Asano,

I., Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine by Mixing DME and Marine C Heavy Fuel Oil, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), D2-1, pp. 1-6, (2011. 10. 17).

⑲Shikimi, K., Dan, T., Asano, I., Hashimoto, M., Combustion Characteristics of Water Emulsified Jatropa Curcas Oil in Variation of Water Droplet Distribution, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), D2-3, pp. 1-6, (2011. 10. 17).

⑳Takayama, A., Yamashita, K., Fujita, H., Harano, W., Decrease of NOx and PM with External Mixing Triple Fluid Atomizer, 9th International Symposium on Marine Engineering (ISME Kobe 2011), C5-4, (2011. 10. 17).

㉑山下恭平, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 外部混合式3流体噴射弁を用いたNOx・PMの低減, 第11回環境技術学会研究発表大会予稿集, pp. 88-89, (2011. 9. 11).

㉒影山朋久, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, PM充電器と静電水スクラバによるNOx, PMの低減, 第11回環境技術学会研究発表大会予稿集, pp. 68-69, (2011. 9. 11).

㉓長正和, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 船舶排ガスの拡散シミュレーション手法に関する研究, 第11回環境技術学会研究発表大会予稿集, pp. 70-71, (2011. 9. 11).

㉔段智久, バイオ燃料のディーゼルエンジンにおける有効利用, 日本航海学会誌 Navigation, 第177号, pp. 52-57, (2011. 7).

㉕長正和, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 船舶排ガスの拡散シミュレーション手法に関する研究, 第21回環境工学総合シンポジウム 2011 講演論文集, pp. 218-221, (2011. 7. 1).

㉖沢本拓也, 岡村秀雄, 藤田浩嗣, 段智久, ディーゼル排気微粒子の環境毒性に及ぼすDMEの添加効果, 第81回マリンエンジニアリング学術講演論文集, pp. 49-50, (2011. 5. 24).

㉗長正和, 高山敦好, 藤田浩嗣, 原野亘, 船舶排ガスの拡散シミュレーション手法に関する研究, 第81回マリンエンジニアリング学術講演論文集, pp. 31-32, (2011. 5. 24).

㉘段智久, 水庫誠, 柳榮鉉, 浅野一朗, DME-C重油混合燃料のディーゼルエンジンにおける排気および燃焼特性, 平成23年春季講演会(福岡), 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第12号 2011S-OS1-8, pp. 21-24, (2011. 5. 19~20).

㉙Ryu Y-H., Dan T., Ishida K., Asano I., Effects of Combustion and Emission Characteristics in Diesel Engine Operated with DME-Bunker C Blend Fuel, 4th Pan Asian Association of Maritime Engineers Advanced Maritime Engineering Conference 2010 (Singapore), P003 No. 6. 2. 1, pp. 345-450, (2010. 12. 6~8).

㉚段智久, 浅野一朗, 尾内亮太, ジメチルエーテル混合燃料のディーゼルエンジンにおける燃焼解析, 平成22年関西支部秋季講演会(神戸) 日本船舶海洋工学会, 講演会論文集 第11号 2010K-OS-8, pp. 383-384, (2010. 11. 15).

㉛段智久, 水庫誠, 石田和也, 柳榮鉉, 橋本正孝, 浅野一朗, ディーゼルエンジンにおけるジメチルエーテルによるC重油の改質, 第80回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 129-130, (2010. 8. 30).

㉜段智久, 田中翔太, 橋本正孝, 浅野一朗, 直接噴射式ディーゼルエンジンにおけるジェットローファ油の燃焼解析, 第80回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集, pp. 127-128, (2010. 8. 30).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡村 秀雄 (OKAMURA HIDEO)
神戸大学・内海域環境教育研究センター・教授
研究者番号: 90253020

(2) 研究分担者

段 智久 (DAN TOMOHISA)
神戸大学・大学院海事科学研究科・准教授
研究者番号: 80314516
藤田 浩嗣 (FUJITA HIROTUGU)
神戸大学・大学院海事科学研究科・教授
研究者番号: 60199338

(1) 研究協力者

岡本ひさよ・神戸大学大学院生
沢本拓也・神戸大学大学院生
水野 壘・神戸大学4年生
松本紗央里・神戸大学4年生
矢野美希・神戸大学4年生